



**Pontificia Universidad  
Católica del Ecuador**  
Seréis mis testigos

**MANABÍ**

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR  
SEDE MANABÍ  
CARRERA DE HIDRÁULICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN  
ESTUDIO AGRONÓMICO Y SIMULACIÓN HIDRÁULICA PARA  
UN SISTEMA DE RIEGO EN FUNCIONAMIENTO POR  
MICROASPERSIÓN PARA EL CULTIVO DE LIMÓN EN EL SITIO EL  
JOBÓ, PARROQUIA CALDERÓN DEL CANTÓN PORTOVIEJO**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN  
GESTIÓN SOSTENIBLE Y APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS  
NATURALES**

**PREVIO AL TÍTULO DE  
INGENIEROS HIDRÁULICOS**

**AUTORES  
JOSHUA ANDREE ZEVALLOS LINO  
MARÍA ESTHER CAJAPE PALMA**

**TUTOR  
ING. JESÚS ENRIQUE CHAVARRÍA PÁRRAGA, M.SC.**

**PORTOVIEJO, DICIEMBRE 2023**

## Certificación de la Tesis

Ing. Jesús Enrique Chavarría Párraga, M.Sc.

Tutor del plan de investigación curricular

En mi calidad de tutor del trabajo de integración curricular, certifico haber revisado el presente manuscrito de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí, cumpliendo la Normativa del Trabajo de Integración Curricular; en consecuencia, es apto para su presentación y sustentación.

---

Ing. Jesús Enrique Chavarría Párraga, M. Sc.

C.I. 130827219-2

Aprobación del Tribunal

El jurado examinador aprueba el presente trabajo de integración curricular en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí:

(F)\_\_\_\_\_

Ing. Jesús Enrique Chavarría Párraga, M.Sc.

Primer Lector

(F)\_\_\_\_\_

Ing. Fabián Espinales Cedeño, M.Sc.

Segundo Lector

(F)\_\_\_\_\_

Ing. Juan Fernando Quiroz, M.Sc.

Tercer Lector

## Declaración de Originalidad

Este manuscrito, no contiene ningún tipo de material que ha sido aceptado para la obtención de un título universitario en otra institución, excepto en la información de soporte que ha sido debidamente citada en mi trabajo. Este trabajo es de total responsabilidad del autor, quien declara bajo juramento que ninguna sección de este trabajo de integración curricular infringe los derechos de autor de nadie.

Autores:

F. \_\_\_\_\_

Joshua Andree Zevallos Lino

Dirección:

E-mail: [juanzevallos73@gmail.com](mailto:juanzevallos73@gmail.com)

Celular: 0984117472

F. \_\_\_\_\_

María Esther Cajape Palma

Dirección:

E-mail: [esthercajape1808@outlook.com](mailto:esthercajape1808@outlook.com)

Celular: 0996125983

## Declaración de Derecho del Autor

Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, a distribuir este manuscrito de investigación en medios físicos y electrónicos, con el fin de promover la divulgación de mis resultados a la comunidad científica y a la sociedad en general. Adicionalmente autorizo el uso de los contenidos de esta investigación como bibliografía para fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, citando como fuente de información al autor de este trabajo.

Autores:

F. \_\_\_\_\_  
Joshua Andree Zevallos Lino  
C.I: 1312238080

F. \_\_\_\_\_  
María Esther Cajape Palma  
C.I. 1314986462

## Dedicatoria y Agradecimiento

Esta etapa de mi vida y educación universitaria ha sido una travesía desafiante y un tanto extraña, y no habría sido posible sin el apoyo y guía de personas maravillosas.

Como parte fundamental y en primer lugar dentro de este viaje se encuentran mis pilares y mi fortaleza, aquellos que han estado para mí desde que tengo memoria y recuerdos inolvidables. Mi madre Verónica, que desde su fe siempre manteniéndome en sus oraciones, hasta el amor incondicional que me transmite, no sé qué sería yo, sin una de mis guías, mi adoración y mi hermana mayor, siempre estaré infinitamente agradecido por todo el apoyo que me ha dado y que sé que nunca me faltará. Y mi padre Juan Carlos, quien estuvo conmigo desde mis primeros pasos y hasta el día de hoy sigue pendiente que no me caiga ni desvíe en el camino. Sé que ha sido difícil y un tanto repetitivo pero ese amigo inigualable que está para mí cuidándome en todo momento no lo cambiaría por nadie en el mundo.

Agradezco también a mi ángel de la guarda, mi abuelita Pepita quien es y será por siempre mi segunda madre, simplemente tiene un espacio especial en mi corazón por tanto apoyo y tanto cariño que me ha brindado todo este tiempo para poder cumplir esta meta.

Y como olvidarme de mi pequeña adoración peluda Milo, que incluso al quedarme de madrugada trabajando, has esperado por mí incontables días y noches. Nunca tuve hermanos y quizás no se comparen, pero hace 12 años me has y me sigues demostrando ese amor que solo ellos pueden enseñarte.

Mi gratitud se extiende a mi grupo de estudio, seis buenos y verdaderos amigos, los cuales logramos salir adelante mutuamente y sin duda alguna sé que podré contar con ellos. Retribuyo también el crédito a mis docentes y mi tutor por el apoyo brindado durante la carrera, profesores de calidad y futuros colegas.

Este trabajo se lo dedico a mis padres y a mi abuelita, sé que se llenaran de orgullo saber que su hijo terminará una de sus tantas etapas y podrá salir adelante como siempre lo ha querido. Y sobre todo me agradezco y me lo dedico a mí, porque sé lo que me costó llegar hasta aquí y fui capaz de hacerlo, una vez más me supere y espero seguir así siempre.

*Joshua Andree Zevallos Lino*

Agradezco a Dios por haberme permitido vivir esta gran experiencia universitaria y al destino por ponerme a las personas que me puso en el camino, gracias a mi mamá por ser esa compañía que no deja que uno se rinda sin importar lo que pase y que siempre nos invita a cumplir cada uno de nuestros sueños.

Agradezco a mi papá por ser ese apoyo incondicional a lo largo de mi vida, gracias a mis hermanos por todo este tiempo haber estado para mí y por servirme de inspiración para salir adelante, gracias a mi gran compañero de vida por ser incondicional, por llenarme de valor y confianza para cada una de las metas que me propongo, por darme la mano siempre para subir escalones, por ser quien está ahí las veces que he caído y ser mi fiel acompañante todas las veces que me ha tocado levantarme, agradezco a mis amigos por brindarme una de las más sinceras amistades que ha sido la base principal para haber podido vivir una de las mejores experiencias en mi vida como fue la universidad, sé que sin ellos las risas y el estrés no habrían sido igual, gracias a esta gran amistad hemos sido un gran equipo y espero que seamos de ahora en adelante grandes colegas, tratándonos con respeto y el mismo cariño de siempre.

Gracias al cuerpo de docentes que nos impartieron sus conocimientos para que podamos forjarnos como buenos profesionales, gracias por el apoyo y el cariño que se ha creado conforme todos estos años debido al gran equipo que hemos sido junto con mis compañeros, gracias incluso a aquel docente que lastimosamente la pandemia se lo llevó aquel 22, espero que realmente se encuentre en un mundo mejor y que esté orgulloso de hasta dónde llegamos así como nosotros siempre estuvimos orgullosos del gran ser humano que fue, tal vez solo él sabe la falta que me ha hecho durante tanto tiempo y el dolor profundo que me dejó su partida pues desde ese entonces trato de llenar con esperanza aquel gran vacío.

Gracias en general a cada una de las personas que han formado parte de mi vida universitaria y de mi vida personal, acaba una etapa que es la herramienta para que se abran

muchas otras puertas que conllevan nuevas experiencias, gracias a todos y espero seguir fortaleciendo los conocimientos proporcionados y seguir manteniéndolos en mi vida para contribuir a la creación de una mejor sociedad.

*María Esther Cajape Palma*

## Resumen

Esta investigación mixta determinó la relación entre la teoría y el diseño *in situ* seleccionando una parcela con cultivo de limón para generar, mediante riego por microaspersión, una simulación hidráulica en el *software IRRICAD*, y brindar al sistema de riego las condiciones hidráulicas para un uso eficiente del agua. En consecuencia, este estudio explicativo se efectuó desde mayo hasta agosto de 2023 en la comunidad El Jobo, parroquia Abdón Calderón. Se recolectaron datos agronómicos para generar un calendario de riego por microaspersión con intervalos de aplicación de tres días, se simularon tres válvulas de riego y se compararon estos valores con sus evaluaciones en campo. Los resultados generan un calendario de riego con emisores de  $0,1 \text{ m}^3/\text{h}$  que funcionan a una presión de trabajo igual a 15 mca, estimando tiempos de emisión entre 3 y 4 horas, con volúmenes de agua entre 139,34 l/día y 107,7 l/día. La simulación de las tres válvulas de riego calcula un suministro de presión necesaria al inicio de la válvula 1.1 de 16 mca para un caudal de  $7,2 \text{ m}^3/\text{h}$ ; la válvula 1.2 de 21 mca para un caudal de  $8 \text{ m}^3/\text{h}$ ; y la válvula 2 de 16 mca para un caudal de  $1,6 \text{ m}^3/\text{h}$ . La comparación de valores muestra que las válvulas 1.1 y 2 suministran 16,1% y 13,95% más de la presión requerida, respectivamente; la válvula 1.2 suministra 36,62% menos de la presión requerida generando uniformidad e ineficiencia leves. Se recomienda rediseñar el sistema hidráulico y buscar una nueva fuente de captación hídrica.

*Palabras clave:* agua, optimizar, presión, caudal, comparar

## Abstract

This mixed research paper determined the relationship between theory and in situ design by choosing a cultivation of lemon on a plot, to perform a hydraulic simulation by the IRRICAD program with micro-sprinkler irrigation and provide the irrigation system with hydraulic conditions for efficient water use. Thus, this explanatory research study was carried out from May through August 2023 at *El Jobo* rural community, in the parish of *Abdón Calderón*. Some agricultural data were collected to generate a micro-sprinkler irrigation schedule at irrigation intervals of 3 days; also, three irrigation valves were simulated and these values were compared to their respective field evaluations. The findings help to generate an irrigation schedule with emitters ( $0.1 \text{ m}^3/\text{h}$ ) that operate at a working pressure equal to 15 mca, calculating irrigation time around 3-4 hours, with water volumes ranging from 139.34 L/day to 107.7 L/day. The simulation of the three irrigation valves calculates an initial and required water supply pressure of valve 1.1 equivalent to 16 mca at a flow rate of  $7.2 \text{ m}^3/\text{h}$ ; valve 1.2 equivalent to 21 mca at a flow rate of  $8 \text{ m}^3/\text{h}$ ; and valve 2 equivalent to 16 mca at a flow rate of  $1.6 \text{ m}^3/\text{h}$ . The findings from the comparison of these values show that valves 1.1 and 2 supply 16.1% and 13.95% more than the water pressure required, respectively; valve 1.2 supplies 36.62% less than the water pressure required, which determines low uniformity and inefficiency. Redesigning the hydraulic system and looking for a new water source is recommended.

*Keywords:* water, optimize, pressure, flow, compare

## Índice

Certificación de la Tesis .....	ii
Aprobación del Tribunal.....	iii
Declaración de Originalidad.....	iv
Declaración de Derecho del Autor .....	v
Dedicatoria y Agradecimiento.....	vi
Resumen .....	x
Abstract .....	xi
Índice de Tabla .....	14
Índice de Figuras .....	15
Índice de Fórmulas .....	16
Introducción.....	17
Materiales y Métodos .....	20
Tipo de investigación .....	20
Características del lugar .....	20
Localización .....	20
Condiciones climatológicas.....	21
Equipos y materiales .....	22
Materiales de campo.....	22
Materiales de oficina .....	23
Métodos .....	23
Método Deductivo.....	23

Método Inductivo .....	24
Propiedades hidro-físicas del suelo .....	24
Diseño Agronómico de Riego .....	28
Resultados.....	34
Discusiones.....	45
Conclusiones.....	48
Recomendaciones .....	49
Bibliografía.....	50
Anexos .....	55

## Índice de Tabla

Tabla 1: Datos climatológicos promedios mensuales desde 2009 al 2018.....	21
Tabla 2: Textura en cada perfil de suelo .....	34
Tabla 3: Densidad aparente en cada perfil de suelo .....	35
Tabla 4: Evapotranspiración del cultivo (ETc) estimados en el software CROPWAT ...	37
Tabla 5: Cálculos Agronómico-mensuales para cultivo del limón .....	38
Tabla 6: Calendario de riego basado en diseño agronómico .....	39
Tabla 7: Presiones y caudales levantados en campo por cada válvula de riego .....	43
Tabla 8: Comparación de las presiones por válvulas simuladas en Irricad con las recopiladas en campo .....	44
Tabla 9: Comparación de los caudales por válvula simulados en Irricad con los recopilados en campo .....	44
Tabla 10: Lámina de Agua infiltrada según el tiempo de infiltración .....	60
Tabla 11: Datos climatológicos promedios mensuales desde 1990 al 2013 .....	61

## Índice de Figuras

Figura 1: Zona de estudio .....	21
Figura 2: Presiones y caudales simulados en el software IRRICAD por cada válvula ....	41
Figura 3: Trazado de la red simulada en IRRICAD .....	42
Figura 4: Resultados de laboratorio de análisis de agua .....	55
Figura 5: Normas Riverside para evaluar la calidad de aguas de riego .....	56
Figura 6: Clasificación de las Aguas según normas Riverside .....	49
Figura 7: Estación meteorológica del INAMHI M0162 Chone U. Católica .....	58
Figura 8: Ecuación para determinar velocidad de infiltración .....	59
Figura 9: Presiones generadas en IRRICAD vs Presiones registradas en Campo.....	59
Figura 10: Caudales generados en IRRICAD vs Caudales registrados en Campo.....	60

## Índice de Fórmulas

Fórmula 1: Determinación Capacidad de Campo del suelo .....	25
Fórmula 2: Determinación Indirecta del Punto de Marchitez Permanente del suelo .....	26
Fórmula 3: Método de Penman Monteith modificada por la FAO .....	28
Fórmula 4: Evapotranspiración del cultivo ETc .....	29
Fórmula 5: Coeficiente del cultivo ETc .....	29
Fórmula 6: Estimación Fracción de sombreado .....	30
Fórmula 7: Volumen de agua diario requerido .....	30
Fórmula 8: Volumen total de agua diario por aplicar .....	31
Fórmula 9: Requerimiento de lavado .....	31
Fórmula 10: Tiempo de riego .....	31
Fórmula 11: Pérdida de carga .....	32

## Introducción

Haciendo referencia al recurso base donde surge toda investigación del ámbito agrícola según Holzmann (2015) se debe comprender que el sustrato fundamental para la producción de alimentos es el suelo, que está formado por cuatro componentes: agua, aire, material inorgánico y materia orgánica. Al comprender cómo se estructura y funciona el suelo, podemos aplicar las mejores prácticas para su aprovechamiento agrícola e hidráulico. Según señalan Gorosito y Assan (2018), para el cultivo tradicional, el agua que se almacena en el suelo es esencial, por lo que es necesario conocer las propiedades del suelo que determinan su capacidad de retención, así como las fuerzas que intervienen en la interacción entre el sustrato y el líquido, que regulan el flujo de esta y su captación por las plantas.

Se conoce que Ecuador es un país donde la mayor parte de sus ingresos económicos provienen de la tierra, donde según el BANCO MUNDIAL (2021) que es la entidad que define los valores monetarios en los bienes y servicios producidos por una economía en un lapso explícito, señala que el PIB (Producto Interno Bruto) lo aportó el sector agrícola con 9,4% (\$10.55 mil millones US), siendo el cuarto sector más importante nacionalmente.

En relación con el MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA (2019), señalan que los agricultores son tan necesarios para la población, siendo los que suministran cada día a toda la población de productos de calidad tanto para una alimentación saludable, como para la exportación, y por lo tanto generan ingreso de divisas hacia la economía ecuatoriana, generando una importante fuente de ingreso al país. Siendo un eje para la economía de la provincia manabita, al ser una actividad fundamental en el ámbito económico como en la seguridad alimentaria para conocer el comportamiento de la producción.

“El limón es uno de los principales cítricos consumidos tradicionalmente por nuestro pueblo, también reconocido por sus beneficios en la salud como alimento, en la dieta diaria y como ayuda natural a proteger el sistema inmunológico humano y combatir las células cancerosas” Según detalla Valarezo *et al.* (2019) La producción nacional de limones criollos, o limones sutiles, ocurre mensualmente, pero declina significativamente a mediados de año, donde unas 8.000 hectáreas de productividad corresponden a plantaciones de baja y media tecnología, distribuidas especialmente en las provincias de Guayas, Santa Elena, Manabí y El Oro.

La comercialización de este producto es volátil, dado que nada ha ocurrido en la anunciada década de cambios en la matriz productiva, debido a que la fruta, del centro de acopio, se envía a Quito, Guayaquil y otras localidades para su consumo en fresco; donde el sistema ha mantenido rendimientos aceptables para los productores de cítricos, lo que ha resultado en un aumento de la superficie cultivada y un aumento de la oferta. Manabí es una provincia agrícola en comparación con el resto del país, donde la gran escala del sector agrícola es clave para el desarrollo de la economía, además es uno de los más diversos del Ecuador debido al tamaño de la provincia, la estabilidad del clima y la topografía apta para el cultivo (Zambrano, 2013).

Dentro de una evaluación sobre la sustentabilidad de las fincas productoras de limón en Portoviejo los autores Valarezo *et al.* (2019). afirman que, según el Instituto Nacional de Estadística y Censos, en Ecuador se cultivan 4.609 hectáreas de limón Sutil (*Citrus aurantifolia* (Christm) y limón Tahitiano (*Citrus latifolia* (Yu. Tanaka) Tan) para consumo local y exportación. Según los últimos datos del (Ministerio de Agricultura y Ganadería) en Manabí (32%), Pichincha (21%) y Guayas (13%) en 2008, Loja (9%), El Oro (9%), Imbabura (4%) y otras provincias (12%) producen alrededor de 23.805 toneladas por año con rendimientos que alcanzan los 4.718 kilogramos (kg) por año. En Manabí hay poca producción desde septiembre

hasta finales de noviembre. Los limones que se producen en Manabí se envían a mercados de otros estados, Mejía y Río Chico producen unas 300 hectáreas y Santa Ana y Ayacucho unas 100 hectáreas.

Es por lo que, la investigación efectuada buscó elaborar el estudio agronómico y una simulación hidráulica para un sistema de riego en funcionamiento por microaspersión para el cultivo de limón en el sitio El Jobo, parroquia Abdón Calderón del cantón Portoviejo. Donde para dar cumplimiento al objetivo general se establecieron las relaciones agronómicas entre suelo, planta, agua y clima en el sector, se diseñó el sistema existente de riego por microaspersión mediante el software Irricad con la información obtenida del sitio, y se compararon hidráulicamente el sistema de riego implementado en campo con la simulación generada en el software IRRICAD.

## **Materiales y Métodos**

### **Tipo de investigación**

Se aplicó una investigación mixta con el fin de determinar la correlación entre la teoría y el diseño “*in situ*”. Se seleccionó el área de estudio específica al cítrico y se tomaron muestras representativas de ciertas propiedades del cultivo con riego implementado, estableciendo el área experimental para evaluar el uso más eficaz del agua y los recursos económicos.

### **Características del lugar**

#### ***Localización***

Haciendo una breve reseña de los gobiernos parroquiales, el GAD Calderón (2021) nos detalla sobre la comunidad “El Jobo” forma parte de uno de los trece recintos que conforman la parroquia rural Calderón, esta posee una extensión de 136 km<sup>2</sup> encontrándose ubicada en un territorio topográficamente irregular, contando con espacios amplios para el desarrollo de sus actividades agrícolas.

La zona de estudio corresponde a la finca “El Amanecer”, situada en la parroquia Abdón Calderón, provincia de Manabí, Ecuador. La georreferenciación de la finca es 1° 2' 59,280" S 80° 17' 59,160" W. Posee una extensión de 1,52 hectáreas, dedicadas principalmente al cultivo de limón.

**Figura 1***Zona de estudio.*Fuente: *GOOGLE EARTH (2023)***Condiciones climatológicas**

Las condiciones climáticas evaluadas en las pruebas se obtuvieron de la estación meteorológica MB82-La Teodomira-Lodana, propiedad del INAHMI, de la cual se obtienen datos de precipitación, evaporación, heliofanía y velocidad del viento para estimar ETo.

**Tabla 1***Datos climatológicos promedios mensuales desde 2009 al 2018*

Mes	Temperatura Media (°C)	Humedad relativa (%)	Precipitación (mm)	Evaporación (mm)	Velocidad del viento (m/s)	Heliofanía (horas)
Enero	26,23	82,34	142,43	118,67	0,62	1,6
Febrero	23,97	71,10	189,27	85,43	0,45	2,3
Marzo	27,40	81,74	176,17	139,76	0,59	2,9
Abril	26,94	84,62	152,52	140,35	0,56	3,3

Mayo	26,53	83,19	52,06	140,06	0,66	2,7
Junio	25,60	82,56	14,76	132,84	0,61	2,1
Julio	25,21	81,29	15,90	136,26	0,66	2,3
Agosto	25,39	79,22	0,68	153,28	0,79	2,6
Septiembre	25,94	77,46	0,79	153,21	0,96	3,3
Octubre	25,80	77,58	3,15	159,34	0,92	3,1
Noviembre	25,54	75,73	0,82	145,92	0,81	2,6
Diciembre	26,39	79,32	55,75	139,21	0,78	2,2

---

*Fuente:* INAMHI (2023)

### **Equipos y materiales**

#### ***Materiales de campo***

Garmin GPSMAP 64s

Muestra de Agua.

Muestra de suelo.

Cilindros Metálicos.

Combo de goma.

Fundas Plásticas.

Cuaderno.

Lapicero.

### ***Materiales de oficina***

Laptop.

Software OFFICE.

Software ARCMAP.

Software CROPWAT.

Software AUTOCAD.

Software IRRICAD.

### **Métodos**

Cabe recalcar que durante el desarrollo del estudio se aplicaron varios métodos que facilitaron la generación de los procesos a llevar para la factibilidad de sus resultados, siendo necesario describirlos cada uno de ellos, entre los que tenemos:

#### ***Método Deductivo***

Según Gavilánez (2021) este método implica usar principios o leyes generales que explican un fenómeno para obtener conclusiones sobre una situación particular. Es decir, el razonamiento deductivo es aquel que va de lo general a lo particular.

### ***Método Inductivo***

Este método se utiliza para analizar casos o eventos específicos, de los que se extraen conclusiones que se pueden generalizar a toda la población afectada. En este caso Gavilánez (2021) puntualiza que el razonamiento inductivo va de lo concreto a lo general.

### ***Propiedades hidro-físicas del suelo***

#### **Calicata**

Se estableció las propiedades hidro-físicas del suelo en el sitio El Jobo, de Calderón, determinando el área, mediante una excavación para obtener la muestra de suelo con medidas de 1m x 1.50m y 1m de profundidad, en un perímetro de 1.52 Ha. Se establecieron los diferentes perfiles, comprobando con el color de las capas del suelo y utilizando la navaja para comprobar la dureza y consistencia del suelo. Se procedió a medir la altura de cada perfil y contabilizar cuantas capas encontramos en una profundidad de 1m.

#### **Densidad Aparente**

Se obtuvieron muestras de cada perfil del suelo en las calicatas elaboradas con la finalidad de realizar pruebas de densidad aparente mediante el método del cilindro. Un método práctico para medir la porosidad y la calidad de la estructura del suelo, así como el efecto de las prácticas agrícolas y el nivel de compactación, es calcular la densidad aparente. Este cálculo consiste en determinar la masa de una unidad de volumen del suelo, incluyendo los espacios porosos. (Hossne, 2007).

**Tabla 1**

*Proceso de cálculo Densidad aparente.*

$S = \pi * r^2$	$V = S * h$	$da = \frac{Pa}{Va}$
<b>Donde:</b>	<b>Donde:</b>	<b>Donde:</b>
<i>S = Superficie del cilindro</i>	<i>V = Volumen del Cilindro</i>	<i>Pa = Peso de la muestra seca</i>
<i><math>\pi</math> = Constante (3,1416)</i>	<i>h = Altura del cilindro</i>	<i>Va = Volumen del cilindro</i>
<i>r = Radio del Cilindro</i>	<i>S = Superficie del cilindro</i>	

Fuente: Mejía y Menéndez (2019)

### **Capacidad de Campo**

Se refiere al importe de agua que se puede retener en sus poros después de haber sido saturado y permitido que el exceso de agua drene por gravedad. Cuando el sustrato ya no pierda más agua por gravedad se dice que está a capacidad de campo. Se asiente que el estado de capacidad de campo se logra en suelos bien drenados a los dos o tres días después de una lluvia abundante (Chicas Soto y otros, 2014)

$$\%CC = \frac{Ph - Ps}{Ps} * 100$$

**Fórmula 1:** *Determinación Capacidad de Campo del suelo*

**Donde:**

CC= Capacidad de campo, expresado en %

**Ph**= peso de la muestra de suelo húmedo, expresado en gramos

**Ps**= peso del suelo seco, expresado en gramo.

### **Punto de Marchitez permanente**

Eventualmente, llegará un momento en que el cultivo no podrá obtener más agua del suelo. Entonces, la extracción de agua será cero y se habrá llegado al punto de marchitez irreversible, siendo este el contenido de humedad en el suelo en el cual las plantas se marchitan permanentemente. (FAO, 2006). Luego de haber obtenido el valor de capacidad de campo se puede evaluar el punto de marchitez del suelo considerando que el PMP de un suelo equivale aproximadamente a 1/2 de la capacidad de campo (Chavarría , 2015).

$$\%Humedad\ PMP = \%CC * 1/2$$

### ***Fórmula 2: Determinación Indirecta del Punto de Marchitez Permanente del suelo***

#### **Donde:**

**PMP**= Punto de marchitez permanente, expresado en %

**CC**= Capacidad de campo, expresado en %

### **Textura (geotecnia del suelo)**

Medición de textura de los perfiles encontrados en la calicata realizada. Se procedió a realizar el respectivo muestreo de cada perfil equivalente a 1.5 kilos de muestra por horizonte, en total se enviaron al laboratorio 5 muestras de suelos.

## **Infiltración del Suelo**

Una tasa de infiltración lenta puede indicar compactación del suelo o incluso dar lugar a erosión superficial o encharcamiento; por el contrario, una tasa de infiltración elevada puede provocar la lixiviación de nutrientes, reduciendo su aforo de absorción hacia las plantas (FAO, 2022).

Se estableció la velocidad de infiltración mediante el infiltrómetro digital de doble anillo, con un anillo interior de 6 cm de diámetro y anillo exterior de 12 cm los cuales, al limitar cierta porción del suelo, saturan el área para obtener así la medida de variación del nivel del agua y registrar la profundidad bajada con respecto al anillo interior en los intervalos de tiempo de 2, 5, 10, 15, 20, 30 minutos y finalmente cada hora (Chavarria , 2023).

## **Tipo de Agua**

Dentro del área de estudio se realizó un análisis químico denominado Agua 2 en el INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS (INIAP), donde se estimó los sólidos disueltos, electrometría y la clase de agua presente en la muestra captada, la cual es utilizada para reponer la lámina bruta de cada turno de riego.

## *Diseño Agronómico de Riego*

### **Evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) (FAO, 2006)**

Para precisar la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) se consideró el método indirecto de Penman Monteith modificado por la FAO utilizando el Software CROPWAT, donde se ingresó la respectiva información meteorológica promediada desde los años 2009 hasta el 2018 como datos de entrada para calcular la variable.

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

*Fórmula 3: Método de Penman Monteith modificada por la FAO*

**Donde:**

**ET<sub>o</sub>**= evapotranspiración de referencia (mm/día)

**R<sub>n</sub>**= radiación neta en la superficie del cultivo (MJ/m<sup>2</sup>/día)

**G**= flujo del calor de suelo (MJ/m<sup>2</sup>/día)

**T**= promedio diario de la temperatura del aire medio a 2 m de la altura (°C)

**U<sub>2</sub>**= velocidad del viento medio a 2 m de la altura (m/s).

**e<sub>s</sub>** = presión de vapor de saturación (KPa)

**e<sub>a</sub>** = presión real de vapor (KPa)

**e<sub>s</sub> - e<sub>a</sub>** = déficit de presión de vapor (KPa)

**Δ** = pendiente de curva de presión de vapor en función a temperatura del aire (K Pa/°C)

**γ**= constante psicométrica (K Pa/°C)

### Evapotranspiración del Cultivo (ETc) (FAO, 2006)

Para estimar la evaporación del cultivo (ETc) se consideró el método indirecto de Penman Monteith modificado por la FAO utilizando el Software CROPWAT, donde se ingresó la respectiva información del cultivo del cítrico recopilada a partir del Manual de la FAO: Evapotranspiración de un cultivo 56.

$$ETc = Kc * ETo$$

*Fórmula 4: Evapotranspiración del cultivo ETc*

**Donde:**

**ETc** = evapotranspiración del cultivo (mm/día)

**Kc** = coeficiente de los cultivos (adimensional)

**ETo** = evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/día)

**Coefficiente del Cultivo (ETc)**

$$ETc = Kc * \boxed{ETo} * FC$$



$$ETc = Kc * ETo * (1.28P + 0.1125)$$

*Fórmula 5: Coeficiente del cultivo ETc*

**Donde:**

**ETc** = evapotranspiración del cultivo (mm/día)

**Kc** = coeficiente de los cultivos (adimensional)

**ETo** = evapotranspiración de referencia (mm/día)

**FC** = Factor Cobertura ( $0 > FC < 1$ )

**O bien**

**P**= Fracción de sombreado al medio día solar ( $0.1 > P < 0.7$ )

P representa el grado de intercepción de la radiación solar por parte de las hojas. Se pueden utilizar valores mínimos de 0.1

$$P = \frac{\pi * D_s^2}{4E_{eh} * E_{sh}}$$

**Fórmula 6:** Estimación Fracción de sombreado

**Donde:**

**D<sub>s</sub>**= Diámetro promedio de la sombra proyectada en el suelo por las hojas del árbol al medio día solar (m)

**E<sub>eh</sub>**= Espaciamiento de los árboles entre hileras (m)

**E<sub>sh</sub>**= Espaciamiento de los árboles sobre la hilera (m)

**Volumen de Agua Diario requerido por la planta**

$$V_a = E_{Tc} * E_{eh} * E_{sh}$$

**Fórmula 7:** volumen de agua diario requerido

**Donde:**

**V<sub>a</sub>**= Volumen de agua (l/día)

**E<sub>Tc</sub>**= Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

**E<sub>eh</sub>**= Espaciamiento de los árboles entre hileras (m)

**E<sub>sh</sub>**= Espaciamiento de los árboles sobre la hilera (m)

### Volumen total diario que aplicar por la planta

$$Vt = \frac{Va}{Ef(1 - RL)}$$

*Fórmula 8: volumen total de agua diario por aplicar*

#### Donde:

**Vt**= Volumen total diario por aplicar (l/día)

**Va**= Volumen de agua diario requiero por la planta (l/día)

**Ef**= Eficiencia de aplicación del agua de riego

### Requerimiento de Lavado

$$RL = \frac{CEa}{2(\text{máx } CEe)}$$

*Fórmula 9: Requerimiento de lavado*

#### Donde:

**RL**= Requerimiento de Lavado (expresado en tanto por uno)

**Cea**= Conductividad eléctrica del agua de riego (dS/m)

**máx CEe**= Conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo, para la cual el descenso de producción es del 100%. (dS/m)

### Tiempo de riego

$$TR = \frac{Vt * Fr}{Qg * Ng}$$

*Fórmula 10: Tiempo de riego*

**Donde:**

**TR**= Tiempo de riego o aplicación de agua para reponer el déficit (hr)

**Vt**= Volumen total diario de agua a aplicar por planta (l/día/planta)

**Fr**= Frecuencia de riego (día)

**Qg**= Caudal de cada micro aspersor (l/h)

**Ng**= Numero de micro aspersores por planta

**Diseño Hidráulico de Riego**

El diseño hidráulico se desarrolló para evaluar el comportamiento de los conductos principales, secundarias y laterales, así como los accesorios y demás componentes, de manera que se pueda aprovechar el agua suficiente para el cultivo del limón en toda su etapa de producción (Bermeo , 2020). Para ello se generó una simulación hidráulica mediante el software IRRICAD para comprobar el sistema de riego, consiguiendo las condiciones de presión y caudal requeridas en cada operación; donde en la estimación de las pérdidas de cargas el software manejó la fórmula de Hazen-Williams.

**Perdida de carga**

$$h = 10.674 * \frac{Q^{1.852}}{C^{1.852} * D^{4.871}} * L$$

*Fórmula 11: Pérdida de carga*

**Donde:**

**h**= Pérdida de carga (m)

**Q**= Caudal ( $m^3/h$ )

**C**= Coeficiente de Rugosidad

**D**= Diámetro interno de la tubería (mm)

**L**= Longitud de la tubería (m)

### **Programación de Riego**

Se maneja en función del  $K_c$  del cultivo del cítrico con un coeficiente de 0,85 manteniéndose sin variaciones en sus diversos cortes y etapas, y de la evapotranspiración referencial ( $E_{To}$ ) reflejada en la estación meteorológica La Teodomira-Lodana. Se calculó mediante el software CROPWAT y hojas de EXCEL, obteniendo como dato de salida; la precipitación efectiva diaria y el requerimiento de agua para el cultivo (Reyes , 2023).

## Resultados

Se establecieron las relaciones agronómicas entre el suelo, planta, agua y clima del sitio El Jobo para un cultivo de limón, determinando los componentes del sustrato de tierra entorno a sus propiedades hidro físicas como velocidad de infiltración, densidad aparente, capacidad de campo, punto de marchitez y textura.

En lo que respecta a la textura del suelo, variaron de acuerdo con los perfiles encontrados en la calicata (ver tabla 2), teniendo en consideración que se localizaron 5 perfiles, con porcentajes de arena que varían desde el 40% hasta el 66%; con porcentajes de limo entre el 24% hasta el 34%; y con porcentaje de arcilla entre el 10% hasta 26%. Constatándose que la textura predominante es la arena en la mayoría de los perfiles del suelo, seguido del limo y en menor medida la arcilla. Esta distribución de textura indica que el suelo en su parte más superficial esta principalmente comprendido por una textura Franca.

**Tabla 2**

*Textura en cada perfil de suelo.*

CALICATA	TEXTURA		
	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)
Perfil 1	50	32	18
Perfil 2	40	34	26
Perfil 3	44	32	24
Perfil 4	44	30	26
Perfil 5	66	24	10

Se observó que la densidad aparente en cada perfil de suelo no es constante (ver tabla 3), determinándose valores que oscilan entre los  $1,27 \text{ gr/cm}^3$  a los  $1,45 \text{ gr/cm}^3$ , sin embargo, aunque exista una fluctuación en sus valores, se puede señalar que el suelo de esta zona tiene una capacidad de infiltración buena. Los valores de la densidad aparente son bajos, indicando que los cultivos consiguen desarrollar sus sistemas de raíces de manera óptima.

**Tabla 3**

*Densidad aparente en cada perfil de suelo.*

<b>Número de perfil de suelo</b>	<b>Densidad aparente <math>\text{gr/cm}^3</math></b>
Perfil 1	1,45
Perfil 2	1,27
Perfil 3	1,27
Perfil 4	1,31
Perfil 5	1,33

La capacidad de campo fue del 28.13%, indicando que posee una buen aforo de retención de agua en sus poros, puesto que el suelo es de tipo franco, lo que ayuda a los cultivos a absorber el agua en periodos de riego más extensos; de manera indirecta se estimó el punto de marchitez (PMP) mediante la capacidad de campo, siendo esta del 14.1% aproximadamente; y se estimó la velocidad de infiltración en un punto representativo de la parcela, consiguiendo un valor de 2,00 mm/horas, indicando que el suelo posee una infiltración regular baja sin llegar a ser excesiva, pero a su vez baja para el tipo de suelo que consta en el área de estudio.

Se efectuó un análisis físico químico del punto de captación del agua para el riego, mismas que se enviaron al laboratorio ESTACIÓN EXPERIMENTAL DEL LITORAL SUR “DR. Enrique Ampuero Pareja” Laboratorio de Suelos, Tejidos Vegetales y Aguas, obteniendo los siguientes valores: temperatura de la muestra 24°C, Conductividad Eléctrica (CE) 3.49 dS/m, Calcio (Ca) 242.10 mg/l, Sodio (Na) 248 mg/l, Magnesio (Mg) 70.40 mg/l, Potasio (K) 19.52 mg/l, Óxido de Carbono ( $CO_3$ ) 0 meq/l, Bicarbonato ( $HCO_3$ ) 4.16 meq/l, Sulfato ( $SO_4$ ) 20.53 meq/l, Cloro (Cl) 1.88 meq/l, Potencial de Hidrógeno (pH) 7.2.

Con los resultados señalados se estimó la calidad de agua empleada para el riego, la cual según la norma Riverside que compara los resultados de la Relación de Adsorción de Sodio (RAS) y la Conductividad del agua (CE) 3.49 dS/m, pertenece al cuadrante C4-S2 que significa: Tipo C4: Agua de salinidad muy alta que no sirve para regar en la mayoría de los casos. Se puede usar solamente en terrenos que dejan pasar el agua fácilmente y que tienen buen drenaje, aplicando cantidades mayores para eliminar las sales del terreno y sembrando plantas que resisten bien la salinidad; Tipo S2: Agua con un nivel moderado de sodio, que puede provocar un exceso de sodio en el suelo, sobre todo en suelos arcillosos o poco permeables. Se recomienda controlar las propiedades físicas del suelo y el sodio intercambiable, y aplicar medidas correctoras si es necesario (INFAGRO, 2023).

Según se observan los resultados obtenidos en cuanto al tipo y calidad de agua se puede considerar que el requerimiento de lavado será mayor al que se especifica en la norma, por lo que según la FAO *et al* (2006) se puede considerar hasta un 20% es razonable dentro del rango de requerimiento, al ser mayor a este porcentaje puede ser justificado si es un cultivo dedicado a una producción de escala mayor.

En relación a la información recopilada en campo se generó una programación agronómica para el cultivo de limón, donde fue necesario estimar la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) mediante los datos climatológicos promedios de la zona con el software CROPWAT, consiguiendo valores oscilantes de ET<sub>o</sub> entre 2,45 mm/día y 3,17 mm/día, los cuales se multiplicaron por el coeficiente del cultivo (K<sub>c</sub>), para obtener la evapotranspiración del cultivo (ET<sub>c</sub>) (ver tabla 5) necesarios para conocer las necesidades hídricas del cultivo.

**Tabla 4**

*Evapotranspiración del cultivo (ET<sub>c</sub>) estimados mediante el software CROPWAT.*

Mes	ET <sub>o</sub> (mm/día)	K <sub>c</sub>	ET <sub>c</sub> (mm/día)
Enero	2,64	0,85	2,24
Febrero	2,72	0,85	2,31
Marzo	3,04	0,85	2,58
Abril	3,05	0,85	2,59
Mayo	2,73	0,85	2,32
Junio	2,45	0,85	2,08
Julio	2,5	0,85	2,13
Agosto	2,78	0,85	2,36
Septiembre	3,17	0,85	2,69
Octubre	3,16	0,85	2,69
Noviembre	2,91	0,85	2,47
Diciembre	2,76	0,85	2,35

En la tabla 5 se presentan los cálculos agronómicos para el cítrico limón en base a los valores de evapotranspiración referencial y la evapotranspiración del cultivo, considerando una Conductividad Eléctrica (CE) del 3,49 dS/m, una Máxima Conductividad eléctrica del extracto

de saturación del suelo (Máx CEa) para un descenso en producción del 100% igual a 8 dS/m, un espaciamiento entre hileras (Eeh) de 10 m, un espaciamiento sobre hileras (Esh) de 8m, un diámetro promedio de la sombra proyectada en el suelo por la copa del árbol al medio día (Ds) de 6 m, una frecuencia de Riego (FR) de 3 días, con un micro aspersor de la marca AZUD con un caudal (Qg) de 100 l/h con una presión de trabajo de 1.5 Bares, distribuido en campo en uno por planta (Ng).

**Tabla 5**

Cálculos Agronómico-mensuales para cultivo del limón.

Mes	P	ETc Corregido (mm/día)	Volumen de Agua diario (l/día)	Volumen total diario (l/día)	Requerimiento de Lavado	Tiempo de Riego (Hr)
Enero	0,35	1,08	86,20	116,0	0,22	3,5
Febrero	0,35	1,11	88,81	119,6	0,22	3,6
Marzo	0,35	1,24	99,26	133,6	0,22	4,0
Abril	0,35	1,24	99,58	134,1	0,22	4,0
Mayo	0,35	1,11	89,14	120,0	0,22	3,6
Junio	0,35	1,00	79,99	107,7	0,22	3,2
Julio	0,35	1,02	81,63	109,9	0,22	3,3
Agosto	0,35	1,13	90,77	122,2	0,22	3,7
Septiembre	0,35	1,29	103,50	139,3	0,22	4,2
Octubre	0,35	1,29	103,18	138,9	0,22	4,2
Noviembre	0,35	1,19	95,01	127,9	0,22	3,8
Diciembre	0,35	1,13	90,12	121,3	0,22	3,6

**Tabla 6**

Calendario de riego basado en diseño agronómico

<b>Fecha</b>	<b>Frecuencia de Riego (días)</b>	<b>Volumen total diario (l/día)</b>	<b>Tiempo de Riego (horas)</b>
01 - 31 de enero	3	116,05	3
01 - 29 de febrero	3	119,56	4
01 - 31 de marzo	3	133,63	4
01 - 30 de abril	3	134,07	4
01 - 31 de mayo	3	120,00	4
01 - 30 de junio	3	107,70	3
01 - 31 de julio	3	109,89	3
01 - 31 de agosto	3	122,20	4
01 - 30 de septiembre	3	139,34	4
01 - 31 de octubre	3	138,91	4
01 - 30 de noviembre	3	127,92	4
01 - 31 de diciembre	3	121,32	4

Para el diseño hidráulico de la red mediante el software IRRICAD, se realizó un levantamiento de información dentro del área de estudio para lograr una simulación eficiente y precisa del sistema de riego. Recopilándose datos sobre el tipo de cultivo, sus requerimientos hídricos, el tipo del suelo, la topografía del terreno y las condiciones climatológicas de la zona.

Compilando que había tres módulos de riego distribuidos en toda la parcela, donde dos módulos (válvula 1.1 y 1.2) estaban conectados desde la bomba hasta la sección más distante con una tubería principal de 225 metros en material PVC con diámetro exterior de 63 mm y un diámetro interior de 57 mm, y 1 módulo (válvula 2) estaba conectado mediante una tubería

secundaria desde la tubería principal a una longitud de 35 metros en material PVC con diámetro exterior de 63 mm y un diámetro interior de 57 mm.

En cuanto a las tuberías porta emisores cuentan con una longitud de 35 metros dentro de la primera sección en material PE con un diámetro exterior de 16 mm y un diámetro interior de 14 mm, con una separación cada 10 metros entre ramales en el módulo 1.1 y 1.2; y en el módulo 2 posee una longitud de 32 metros con una separación de 6 metros entre ramales con un diámetro exterior de 16 mm y un diámetro interior de 14 mm.

Se obtuvo la información de la bomba aportante del sistema con las características definidas en placa, necesitando de un voltaje monofásico 110/220v, con un motor de 3HP 60 HZ de 3450 R.P.M, una altura de succión de 9 metros con una salida/entrada de 2 pulgadas.

Los datos especificados fueron ingresados al software Irricad para comprobar las presiones y los caudales de trabajo al inicio de cada módulo de riego (figura 2 y figura 3).

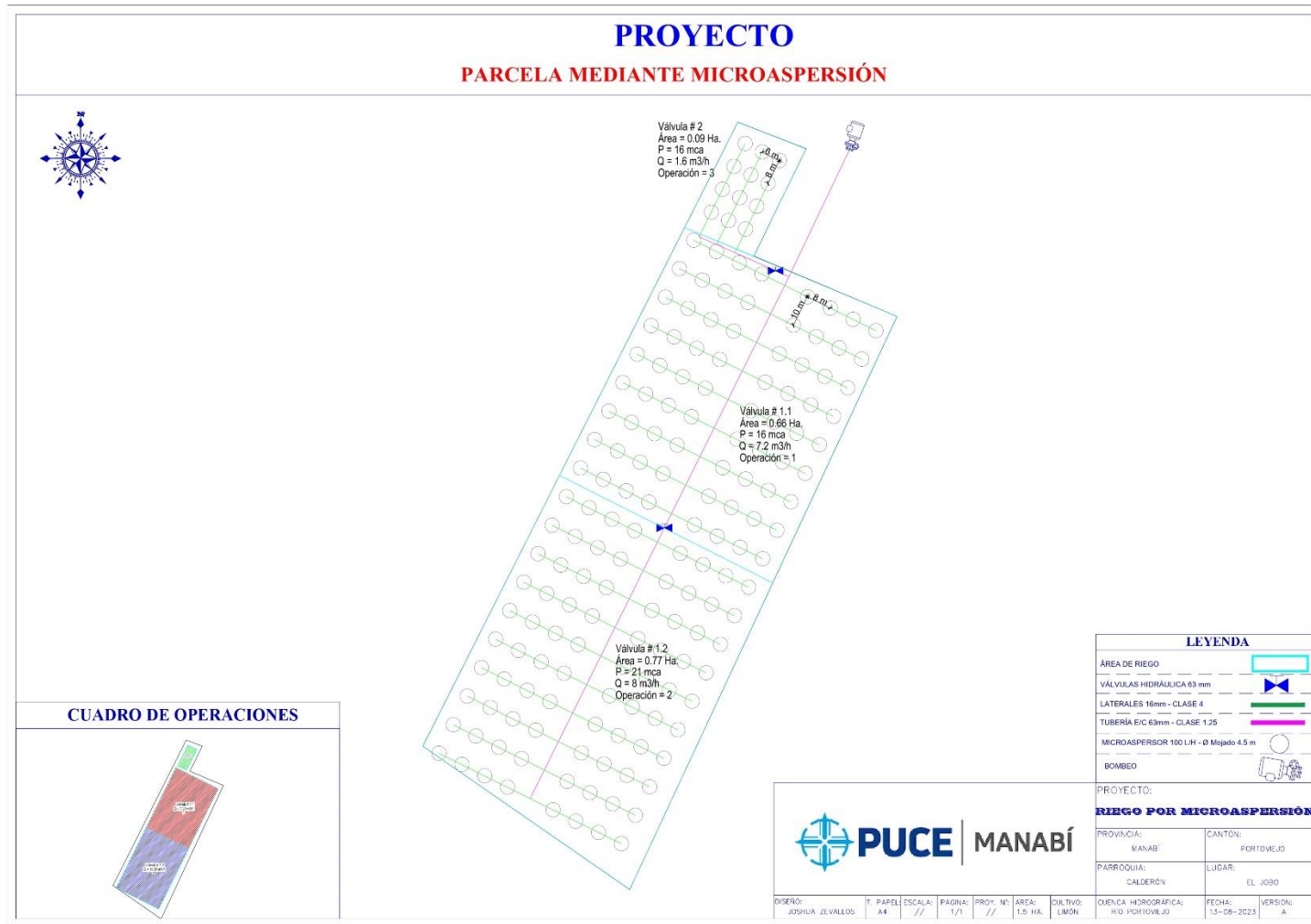
**Figura 2**

Presiones y caudales simulados en el software IRRICAD por cada válvula de riego.

Zone Name		Valve Description		Zone Flow (m3/h)	Zone Pressure (m)
Válvula 1.1		63 mm		7,2	16,00
Válvula 1.2		63 mm		8,0	21,00
Válvula 2		63 mm		1,6	16,00

Figura 3

Trazado de la red simulada en IRRICAD.



Para la evaluación hidráulica del sistema de riego implementado con el diseño simulado en IRRICAD, se realizaron en campo tres mediciones directas por cada válvula de riego para determinar las presiones y caudales de trabajo al final de cada emisor, obteniendo los valores promedios que se presentan en la tabla 7.

**Tabla 7**

Presiones y caudales levantados en campo por cada válvula de riego.

Válvula	Turno de riego	Área de riego (Ha)	Presión necesaria (mca)	Caudal por válvula (m <sup>3</sup> /h)
1.1	1	0.66	18,8	5,71
1.2	2	0.77	14,5	6,31
2	3	0.09	18,4	1,08

Al comparar los resultados obtenidos de la simulación hidráulica efectuada en IRRICAD con los levantados en campo para la parcela de riego mediante micro aspersion, tenemos que para garantizar un caudal en cada emisor de 100 l/h (6 m<sup>3</sup>/h) se necesita de una presión igual a 1.5 Bares (15 mca), donde según los datos simulados en IRRICAD debemos suministrar al inicio de la válvula 1.1 una presión de 16 mca, en la válvula 1.2 una presión de 21 mca y en la válvula 2 una presión de 16 mca, lo cual al compararlo con los resultados levantados en campo (ver tabla 8) tenemos que se está suministrando una presión al inicio de la válvula 1.1 de 18,8 mca (16,10% más), en la válvula 1.2 de 14,5 mca (36,62% menos) y en la válvula 2 de 18,4 mca (13.95%), generando que los emisores de la válvula 1.2 entreguen menor caudal del requerido en campo en relación a las necesidades estimadas del cultivo (ver tabla 9).

**Tabla 8**

Comparación de las presiones por válvulas simuladas en IRRICAD con las recopiladas en campo.

Válvula	IRRICAD (mca)	Campo (mca)	Diferencia porcentual (%)
1.1	16	18,8	16,10
1.2	21	14,5	- 36.62
2	16	18,4	13,95

**Tabla 9**

Comparación de los caudales por válvula simulados en IRRICAD con los recopilados en campo.

Válvula	Irricad (m <sup>3</sup> /s)	Campo (m <sup>3</sup> /s)	Diferencia porcentual (%)
1.1	7,2	5,71	20,7
1.2	8,0	6,31	21,1
2	1,6	1,36	15,0

## Discusiones

En la investigación efectuada se elaboró un estudio agronómico y una simulación hidráulica para un sistema de riego en funcionamiento por microaspersión para un cultivo de limón en el sitio El Jobo, parroquia Calderón del cantón Portoviejo. Donde las relaciones agronómicas entre suelo, planta, agua y clima señalan que: el suelo está conformado por 5 perfiles con una estructura franca predominante de arena, seguido del limo y en menor medida las arcillas, con densidades aparentes oscilantes entre los  $1.27 \text{ gr/cm}^3$  a los  $1.45 \text{ gr/cm}^3$ , señalando una buena capacidad de infiltración, con una capacidad de campo del 28,3%, un punto de marchitez permanente del 14.1% y una velocidad de infiltración de agua de 2 mm/horas.

Los estudios físico químicos entorno a la calidad del agua captada de un pozo subterráneo para el abastecimiento a las redes señalan una conductividad eléctrica (CEa) de 3,49 dS/m, con un pH de 7.2., lo cual según la norma Riverside que compara los resultados de la Relación de Adsorción de Sodio (RAS) y la Conductividad del agua, la clasifican en un tipo C4 -S2, indicando en muchos casos que no es apta para el riego, debiéndose usar en suelos muy permeables y con buen drenaje, con volúmenes en exceso para lavar las sales del suelo y con cultivos muy tolerantes a la salinidad; y que posee un contenido medio en sodio el cual se puede acumular en suelos con textura fina (arcillosos y franco-arcillosos), con una baja permeabilidad.

Las condiciones climáticas del lugar nos permitieron determinar la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) mediante el método de Penman Monteih FAO56, consiguiendo valores oscilantes entre los 2,45 mm/día y 3,17 m/día, los que al relacionarlos con el coeficiente del cultivo (K<sub>c</sub>) de limón de 0,85, se estimó la evapotranspiración del cultivo (ET<sub>c</sub>) obteniendo valores oscilantes entre los 2,08 mm/día y 2,70 mm/día.

En la programación de riego se vincularon todos estos componentes con el uso de un emisor tipo micro aspersor con un caudal de 100 l/h, una presión de trabajo de 1.5 Bares y un diámetro de mojado igual a 4.50 m, generando un calendario de riego con una aplicación cada 3 días, con tiempos de emisión entre las 3 y 4 horas, y volúmenes de entrega entre los 139,34 l/día y 107,7 l/día.

Resultados que concuerdan con la investigación efectuada por Fernández (2019) quien menciona que en el diseño de un riego tecnificados se deben integrar los componentes agua, suelo, planta y clima buscando optimizar el agua al otorgar lo que agronómica e hidráulicamente requiere el cultivo; en torno al modo de reponer la lámina de riego se coincide con lo señalado por Ramírez *et al.* (2008) quienes mencionan que el riego por microaspersión posee mayor rentabilidad en producción para el cultivo de limón; y los valores de evapotranspiración del cultivo (ETc) concuerdan en orden de magnitud con las obtenidas por Santana (2020) en su investigación efectuada en la provincia de Santa Elena para un cultivo de limón con datos oscilantes entre 1,05 mm/día y 3,15 mm/día.

En la simulación del sistema existente de riego mediante el software IRRICAD se recopiló que en campo había tres módulos distribuidos en toda la parcela (válvula 1.1, válvula 1.2 y válvula 2) conectados desde la bomba con una tubería principal en material PVC con diámetro exterior de 63 mm y un diámetro interior de 57 mm, y las tuberías porta emisores en material PE con un diámetro exterior de 16 mm y un diámetro interior de 14 mm, con una separación cada 10 metros entre ramales en la válvula 1.1 y 1.2, y en el módulo 2 una separación de 6 metros, donde se debe suministrar al inicio de la válvula 1.1 una presión de 16 mca para conseguir un caudal de 7,2 m<sup>3</sup>/h, en la válvula 1.2 una presión de 21 mca para conseguir un

caudal de  $8 \text{ m}^3/\text{h}$ , y en la válvula 2 una presión de 16 mca para conseguir un caudal de  $1,6 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Con relación a los resultados de presiones y caudales de la simulación hidráulica en el software IRRICAD se concuerda con el criterio mencionado por Gómez (2018); Santisteban y Díaz (2022), indicando que las simulaciones hidráulicas para el diseño de sistemas de riego permiten una modelación completa de su funcionamiento, donde al compararlo con un sistema existente se pueden efectuar mejoras en cuanto operación y mantenimiento para aprovechar la inversión en tecnificación.

Para comparar las presiones necesarias al inicio de las válvulas de riego con la simulación generada en el software IRRICAD, fue necesario en campo generar tres mediciones directas por cada válvula para determinar las presiones y caudales de trabajo, estimando que para la válvula 1.1 se suministra una presión de 18,8 mca lo que otorga un caudal de  $5.71 \text{ m}^3/\text{h}$ , en la válvula 1.2 se suministra una presión de 14,5 mca lo que otorga un caudal de  $6.31 \text{ m}^3/\text{h}$  y en la válvula 2 se suministra una presión de 18,4 mca lo que otorga un caudal de  $1.08 \text{ m}^3/\text{h}$ . Donde al compararlo con los datos de la simulación en la válvula 1.1 se está suministrando un 16,10% más de la presión requerida, en la válvula 1.2 se está suministrando un 36,62% menos de la presión requerida y en la válvula 2 se está suministrando un 13,95% más de la presión requerida, generando que los emisores entreguen un menor caudal de las necesidades estimadas del cultivo.

Lo cual posee relación con lo mencionado por Flores *et al.* (2014), señalando que el software Irricad posee un buen desempeño para la estimación de presiones y caudales en riegos presurizados, constatándose con lo mencionado por Montañez (2016) quien señala que las evaluaciones en campo con los resultados de simulaciones hidráulicas permiten optimizar el agua destinada al riego de cultivos.

## Conclusiones

Las relaciones entre los componentes suelo, planta, agua y clima permitieron determinar un calendario de riego para un cultivo de limón mediante microaspersión con un intervalo de riego de 3 días, con un emisor de  $0,1 \text{ m}^3/\text{h}$  y una presión de trabajo igual a 15 mca, estimando tiempos de emisión entre 3 y 4 horas, con volúmenes de agua entre los 139,34 l/día y 107,7 l/día.

La simulación del sistema existente de riego mediante el software Irricad señalaron que se deben suministrar al inicio de la válvula 1.1 una presión de 16 mca para conseguir un caudal de  $7,2 \text{ m}^3/\text{h}$ , en la válvula 1.2 una presión de 21 mca para conseguir un caudal de  $8 \text{ m}^3/\text{h}$ , y en la válvula 2 una presión de 16 mca para conseguir un caudal de  $1,6 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Al contrastar los valores generados por la simulación efectuada en IRRICAD con los datos en campo se determinó que en la válvula 1.1 se está suministrando un 16,10% más de la presión requerida, en la válvula 1.2 un 36,62% menos de la presión requerida y en la válvula 2 un 13,95% más de la presión requerida, generando que los emisores de la válvula 1.2 entreguen un menor caudal de las necesidades estimadas del cultivo.

## **Recomendaciones**

A pesar de que la fracción de lavado es mayor a la especificada en la norma, se maneja este tipo de agua debido a que no se encuentra otra fuente de dotación próxima a la zona de estudio. La calidad de agua no es buena en relación con la necesidad del cultivo, al tener un agua la cual posee mucha salinidad, se recomienda buscar otra fuente de abastecimiento para mejorar la calidad de cultivo y por ende mejorar los tiempos de riego.

Se plantea un rediseño del sistema representado en tres áreas iguales dentro del sitio de estudio para garantizar un uso más eficiente del agua, una presión de trabajo y caudal casi igualados, un tiempo de riego no tan variable entre áreas, y al mismo tiempo optimizar los recursos disponibles.

## Bibliografía

- Bermeo , L. (2020). *Universidad Tecnica Estatal de Quevedo*. Obtenido de “Diseño y programación de un sistema de riego por microaspersión en el cultivo de café (*Coffea canephora*) en el campus La María”:  
<https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/42b197db-217a-42f5-ac74-0b0cdd58564a/content>
- Chavarría , J. (2015). *Respuesta del pasto King Grass Morado (Pennisetum sp) a la aplicación de tres laminas de agua utilizando riego por aspersión en el cantón Chone, provincia Manabí .*
- Chavarría , J. (2023). *Determinación de la velocidad de infiltracion del suelo por el método de los infiltrómetros de doble anillo . Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí .*
- DEPARTAMENTO GENERAL DE IRRIGACIÓN . (2016). *Aquabook*. Obtenido de ¿Qué es el Balance Hídrico?: [https://aquabook.irrigacion.gov.ar/461\\_0](https://aquabook.irrigacion.gov.ar/461_0)
- FAO. (2006). *Evapotranspiración de un Cultivo .* Obtenido de <https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s.pdf>
- FAO. (Julio de 2022). *Propiedades Físicas del suelo .* Obtenido de Prueba de Infiltración : [https://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/GSP/GSDP/Field\\_exercises/New\\_Format\\_ES/P04-Infiltration-ES.pdf](https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/GSP/GSDP/Field_exercises/New_Format_ES/P04-Infiltration-ES.pdf)
- FAO. (2006). *FAO*. Obtenido de Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos: <https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s.pdf>

- Fernández, A. (2019). *Estudio agronómico e hidráulico del sistema de riego tecnificado Pumahuanca, distrito de Urubamba - provincia de Urubamba – Cusco*. Obtenido de Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú:  
<https://hdl.handle.net/20.500.12672/11448>
- Flores, J., Ojeda, W., Íñiguez, C., y Castillo, J. (2014). *Riego de precisión: diseño, aplicación y evaluación*. Obtenido de Instituto Mexicano de Tecnologías del agua:  
<http://hdl.handle.net/20.500.12013/1348>
- GAD ABDÓN CALDERÓN. (2021). *Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de Abdón Calderón* . Obtenido de <https://gadabdoncalderon.gob.ec/manabi/?p=128>
- GOOGLE EARTH. (2023). Área de estudio sitio "El Jobo", parroquia Calderon. Recuperado el 1 de noviembre del 2023.<https://earth.google.com/web/@-1.0505323,-80.30062431,63.97072648a,790.42557826d,30.00034667y,17.07083778h,3.24125847t,360r/data=MikKJwolCiExcHZLMW9NZGdpMDVYQ3FWX1FsaHBRZ3EzUnZ1azg2eXogAToDCgEw>
- Gavilánez , F. (2021). *Diseños y Análisis Estadísticos para Experimentos Agrícolas* . Obtenido de <https://www.editdiazdesantos.com/wwwdat/pdf/9788490523193.pdf>
- Gómez, E. (2018). *Diseño de sistema de riego sub-arbóreo para plantación de 160 hectáreas de banano en Parrita, Puntarenas*. Obtenido de Instituto Tecnológico de Costa Rica:  
[https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/11240/disen%C3%B3\\_de\\_sistema\\_de\\_riego\\_subarboreo\\_plantacion.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/11240/disen%C3%B3_de_sistema_de_riego_subarboreo_plantacion.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Hossne, G. (Agosto de 2007). *SCIELO*. Obtenido de La densidad aparente y sus implicaciones agrícolas en el proceso de expansión/contracción del suelo:

[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187)

INAMHI. (2023). *Inamhi*. Obtenido de Biblioteca Publicaciones Meteorológicas, Anuarios Meteorológicos: <https://www.inamhi.gob.ec/biblioteca/>

INFOAGRO. (1 de Agosto de 2023). *Diagnostico de Aguas de Riego* . Obtenido de abcAgro:

[http://www.abcagro.com/riego/diagnostico\\_aguas2.asp#:~:text=A%20partir%20de%20los%20datos%20de%20CE%20y,las%20aguas%20de%20riego.%20%28U.S.%20Soild%20Salinity%20Laboratory%29](http://www.abcagro.com/riego/diagnostico_aguas2.asp#:~:text=A%20partir%20de%20los%20datos%20de%20CE%20y,las%20aguas%20de%20riego.%20%28U.S.%20Soild%20Salinity%20Laboratory%29).

López, J. (2007). *Irrigación y Drenaje* . Obtenido de Unidad III Necesidades Hídricas de los Cultivos : [http://www.buyteknet.info/fileshare/data/analisis\\_lect/blanne.pdf](http://www.buyteknet.info/fileshare/data/analisis_lect/blanne.pdf)

Mejía , L., & Menéndez , J. (2019). “*Determinación de la relación suelo, agua, planta y clima para actividades de riego en el sitio las chacras de riochico, del cantón Portoviejo*” . Pontificia Universidad Católica del Ecuador campus Portoviejo carrera de Ingeniería Hidráulica.

Montañez, C. (2016). *Evaluación, reestructuración e implementación del sistema de riego por goteo en cultivo de vid Campo Carmín - Agrícola Santiago Queirolo, Ica*. Obtenido de Universidad Nacional Agraria La Molina:

<https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/2484>

- Reyes , J. (2023). *Eficiencia del recurso hídrico en el riego de pasto para la adaptación al cambio climático*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí.
- Santana, R. (2020). *Efecto de cuatro láminas de riego en la producción de limón sutil (Citrus aurantifolia) en el sector de la ponga, parroquia colonche. provincia de Santa Elena*. Obtenido de Universidad Estatal Península de Santa Elena:  
<https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/5535/1/UPSE-TIA-2020-0016.pdf>
- Santisteban, J., y Díaz, J. (2022). *Evaluación del sistema de riego por goteo del cultivo de esparrago con fines de mejoramiento y ampliación en el Fundo “Santo Tomas” de Agrícola Mezcu S.A.C. Jayanca, Lambayeque*. Obtenido de Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Perú: 2022: <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/10422>
- Soto, C., Augusto, R., Chacón, V., Alejandro, E., & García Álvarez, N. (2014). Indirect determination of the capacity to hold moisture in soils of the sub basin of the Torjá River, Chiquimula, Guatemala. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(1), 41-46.  
Recuperado en 13 de septiembre de 2023, de  
[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2071-00542014000100007&lng=es&tlng=en](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542014000100007&lng=es&tlng=en).
- Valarezo , O. (19 de Abril de 2019). *Agroindustria del Limón* . Obtenido de El Diario :  
<https://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/500179-agroindustria-del-limon/>
- Zambrano, M. (18 de Junio de 2013). *Manabí, tierra de encantos*. Obtenido de  
<https://tierrabellamanabi.blogspot.com/2013/06/produccion.html>
- Zambrano, J., y Zambrano, S. *Evaluación del sistema de riego por microaspersión implementado en el jardín clonal de cacao (teobroma cacao l) ESPAM “MFL”*.

Obtenidos de Escuela Superior Politécnica Agropecuaria De Manabí Manuel Félix

López:

<https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/24/1/Zambrano%20Cede%C3%B1o%20Jos%C3%A9%20Javier-Zambrano%20Cede%C3%B1o%20Sergio%20Leonardo.pdf>

## Anexos

Figura 4

Resultados de laboratorio de análisis de agua.

DATOS DEL PROPIETARIO		DATOS DE LA PROPIEDAD		DATOS DE LA MUESTRA						
Nombre:	<i>JOSHUA ANDREE ZEVALLOS LINO</i>	Nombre:	<i>EL AMANECER</i>	Informe No.	0037	Factura No.	9790			
Dirección:	<i>AV. MANABÍ TIBURCIO MACÍAS</i>	Provincia:	<i>MANABÍ</i>	Responsable Muestreo:	CLIENTE	Fecha Análisis	24/07/2023			
Ciudad:	<i>PORTOVIEJO</i>	Cantón:	<i>PORTOVIEJO</i>	Fecha muestreo:	<i>11/07/2023</i>	Fecha Emisión	24/07/2023			
Teléfono:	<i>09844117472</i>	Parroquia:	<i>PORTOVIEJO</i>	Fecha Ingreso:	17/07/2023	Fecha Impresión	25/07/2023			
Fax:	<i>N/E</i>	Ubicación:	<i>SITIO EL JOBO/CALDERÓN</i>	Condiciones Ambientales:	T °C: <b>24,0</b>	%H: <b>55,1</b>				

INFORME DE ANÁLISIS QUÍMICO DE AGUAS																			
N° Laboratorio	Identificación del Lote	CE	Ca		Na		Mg		K		* CO <sub>3</sub>	* HCO <sub>3</sub>	* SO <sub>4</sub>	* Cl	pH	RAS(°)	PSI(°)	%Na	Clase
		µS/cm	mg/l	meq/L	mg/l	meq/L	mg/l	meq/L	mg/l	meq/L	meq/L								
2919 A	<i>MUESTRA 1- AGUA DE POZO</i>	3490,0	242,10	12,11	248,00	10,76	70,40	5,77	19,52	0,50	ND	4,16	20,53	1,88	7,2	4	4	37,58	C4 S2

OBSERVACIONES:

** INTERPRETACIÓN	
AGUAS SALINAS	AGUAS SÓDICAS
C1: Aguas de salinidad baja	S1: Aguas de contenido bajo de sodio
C2: Aguas de salinidad moderada	S2: Aguas medianas en sodio
C3: Aguas de salinidad mediana a alta	S3: Aguas de contenido alto de sodio
C4: Aguas de salinidad alta	S4: Aguas de contenido muy alto de sodio
C5: Aguas de salinidad muy alta	
C6: Aguas de salinidad excesiva	

Procedimiento de Ensayos en Análisis Químicos de Aguas				
Determinación	U (k=2)	Procedimiento de Ensayo	Método de Referencia	Técnica
Potencial de Hidrógeno (pH)	0,094 pH	PEE-LS-01	Método EPA 150.2	Electrométrica
Conductividad Eléctrica (C.E)	3,3 %	PEE-LS-02	Standard Methods 2510B/EPA 120.1	
Sodio (Na)	16 %	PEE-LS-03	Método EPA 273.1	Absorción Atómica
Potasio (K)	16 %	PEE-LS-04	Método EPA 258.1	
Calcio (Ca)	16 %	PEE-LS-05	Método EPA 215.1	
Magnesio (Mg)	16 %	PEE-LS-06	Método EPA 242.1	

C.E. = Conductividad Eléctrica (mS/cm)  
 -L.C = Menor al Límite de Cuantificación  
 Los resultados emitidos en este informe, corresponden únicamente a la(s) muestra(s) sometida(s) al ensayo, tal como fueron recibidas en el Laboratorio.  
 El laboratorio no realiza la toma de muestra. La información relacionada con la toma de la muestra fue proporcionada por el cliente.  
 El Laboratorio no se responsabiliza de la veracidad de la información que ha sido proporcionada por el cliente y que puede afectar directamente a la validez de los resultados del presente informe.  
 Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de acreditación solicitado al SAE.  
 (\*\*) Las opiniones, interpretaciones, etc., se encuentran basadas en el documento Clasificaciones de las aguas de río según las Normas de Riverside.  
 (†) Los valores de PSI y RAS es un cálculo efectuado según nomograma de suelos salinos y sódicos manual No. 60  
 Se prohíbe la reproducción parcial, si se va a copiar que sea en su totalidad  
 Los datos marcados con cursiva y subrayados son proporcionados por el cliente


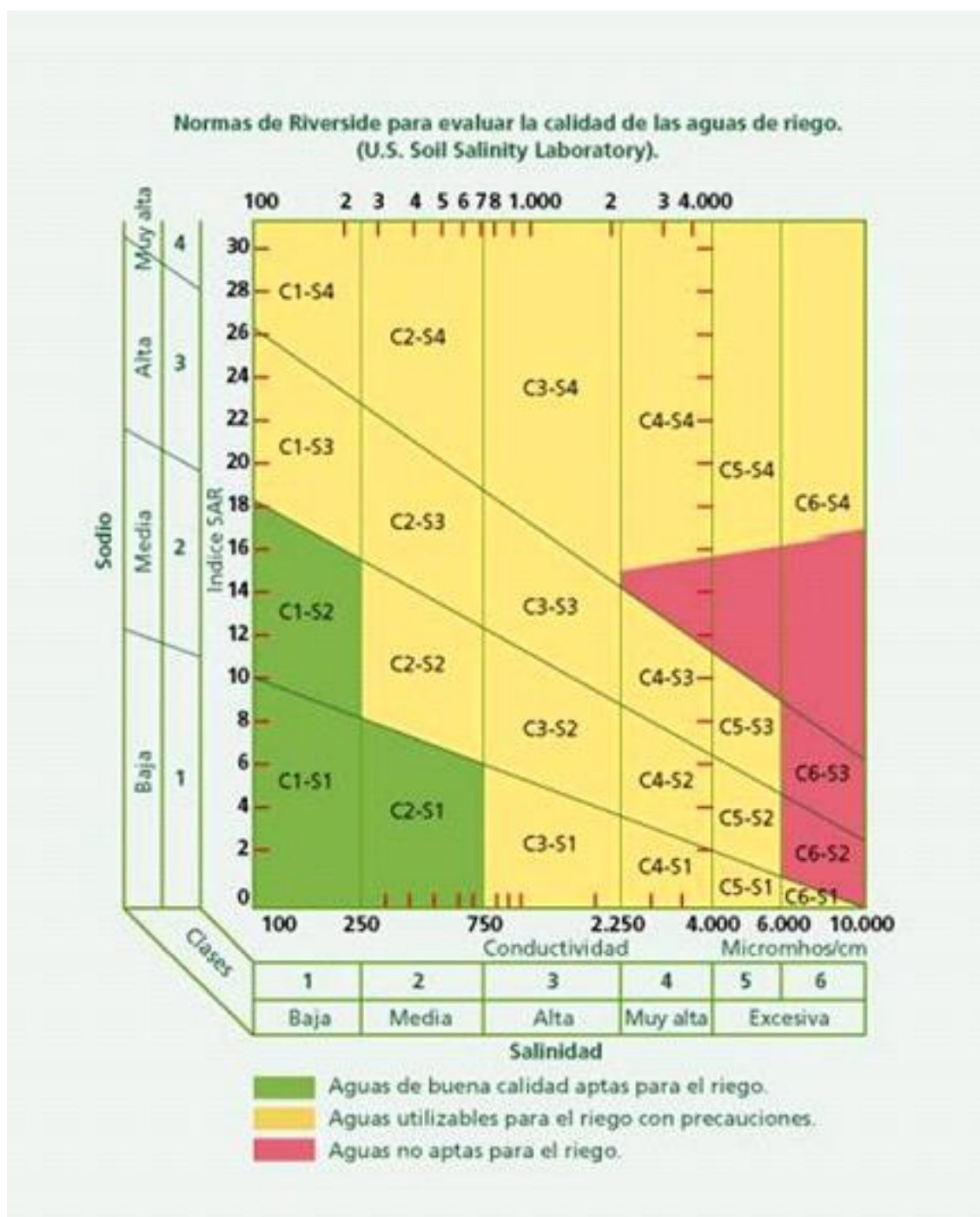
  
 Ing. *María Teresa Jaramilla*  
 Responsable Técnico Laboratorio

Figura 5

Normas Riverside para evaluar la calidad de aguas de riego



**Figura 6**

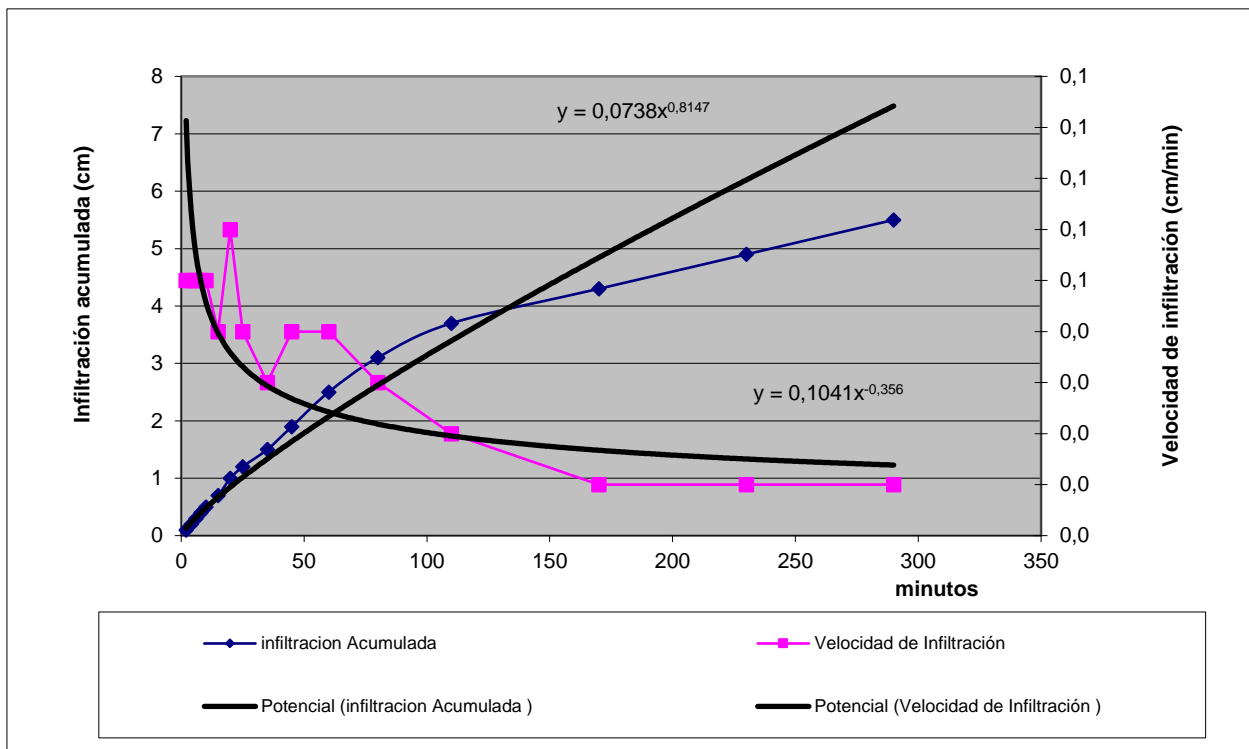
## Clasificación de las Aguas según normas Riverside

Tipos	Calidad y normas de uso
C <sub>1</sub>	Agua de baja salinidad, apta para el riego en todos los casos. Pueden existir problemas sólo en suelos de muy baja permeabilidad.
C <sub>2</sub>	Agua de salinidad media, apta para el riego. En ciertos casos puede ser necesario emplear volúmenes de agua en exceso y utilizar cultivos tolerantes a la salinidad.
C <sub>3</sub>	Agua de salinidad alta que puede utilizarse para el riego de suelos con buen drenaje, empleando volúmenes de agua en exceso para lavar el suelo y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad.
C <sub>4</sub>	Agua de salinidad muy alta que en muchos casos no es apta para el riego. Sólo debe usarse en suelos muy permeables y con buen drenaje, empleando volúmenes en exceso para lavar las sales del suelo y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad.
C <sub>5</sub>	Agua de salinidad excesiva, que sólo debe emplearse en casos muy contados, extremando todas las precauciones apuntadas anteriormente.
C <sub>6</sub>	Agua de salinidad excesiva, no aconsejable para riego.
S <sub>1</sub>	Agua con bajo contenido en sodio, apta para el riego en la mayoría de los casos. Sin embargo, pueden presentarse problemas con cultivos muy sensibles al sodio.
S <sub>2</sub>	Agua con contenido medio en sodio, y por lo tanto, con cierto peligro de acumulación de sodio en el suelo, especialmente en suelos de textura fina (arcillosos y franco-arcillosos) y de baja permeabilidad. Deben vigilarse las condiciones físicas del suelo y especialmente el nivel de sodio cambiante del suelo, corrigiendo en caso necesario
S <sub>3</sub>	Agua con alto contenido en sodio y gran peligro de acumulación de sodio en el suelo. Son aconsejables aportaciones de materia orgánica y empleo de yeso para corregir el posible exceso de sodio en el suelo. También se requiere un buen drenaje y el empleo de volúmenes copiosos de riego.
S <sub>4</sub>	Agua con contenido muy alto de sodio. No es aconsejable para el riego en general, excepto en caso de baja salinidad y tomando todas las precauciones apuntadas.

Fuente: (INFAGRO, 2023)

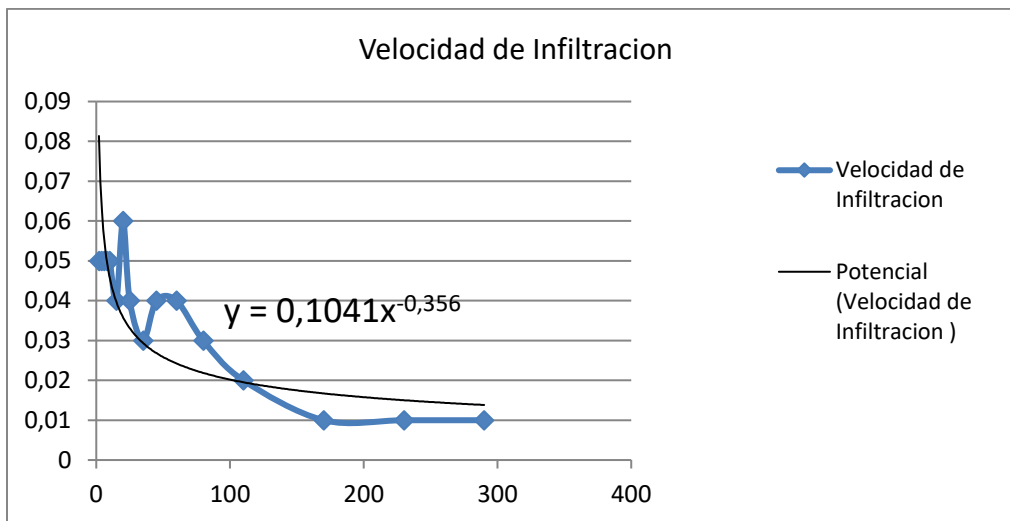
Figura 7

Infiltración acumulada vs Velocidad de infiltración



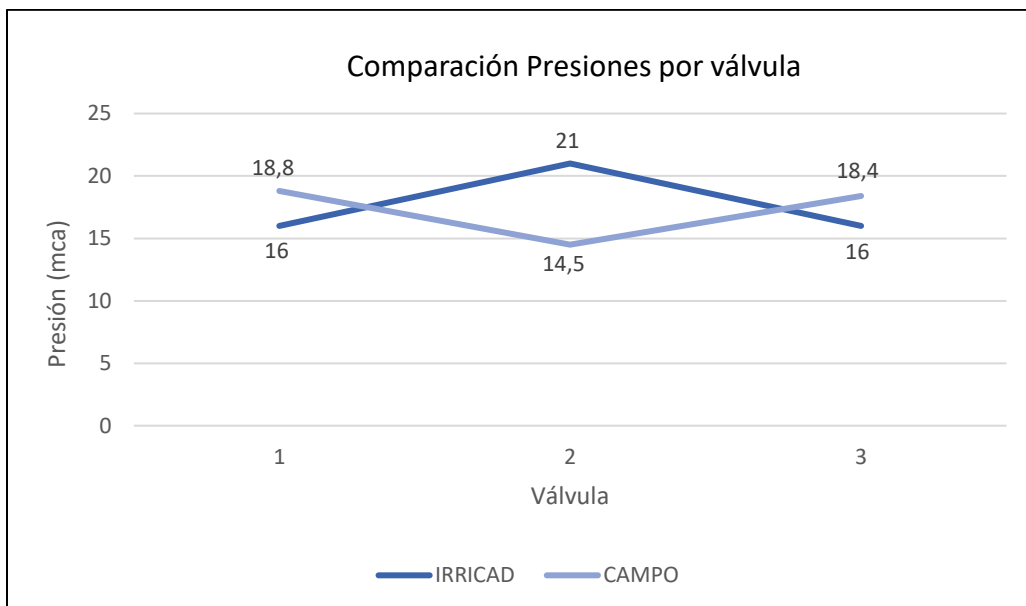
**Figura 8**

Ecuación para determinar velocidad de infiltración.



**Figura 9**

Presiones generadas en IRRICAD vs Presiones registradas en Campo



**Figura 10**

Caudales generados en IRRICAD vs Caudales registrados en Campo

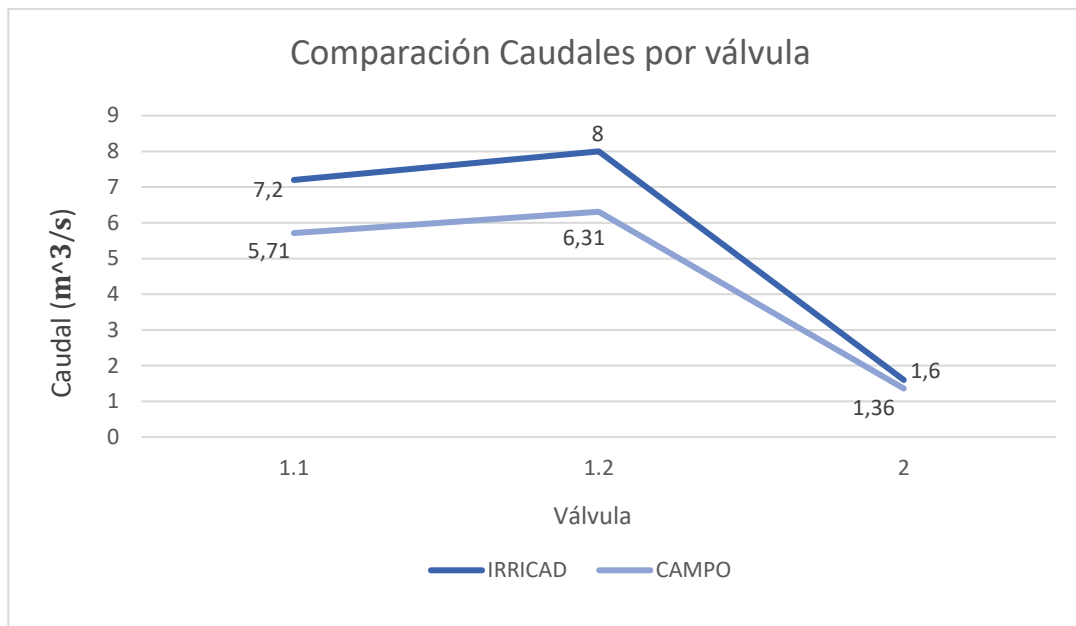
**Tabla 10**

Lámina de Agua infiltrada según el tiempo de infiltración

TIEMPO ACUMULADO DE INFILTRACIÓN T(MINUTOS)	LÁMINA INFILTRADA EN ACUMULADA L (Cm)
10	0,05
15	0,04
20	0,04
30	0,03
40	0,03
50	0,03
60	0,02

**Tabla 11**

Lecturas por válvula de presiones y caudales en campo

Válvula	Medida	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3
1.1	Presión (PSI)	27	27	26
	Caudal (l/min)	94,5	96	95
1.2	Presión (PSI)	20,5	21,5	20
	Caudal (l/min)	105	105,5	105
2	Presión (PSI)	26	26.5	26
	Caudal (l/min)	23	22	23

## Anexo Fotográfico 1

Fotografía aérea del área de estudio realizada con Dron



## Anexo fotográfico 2

Levantamiento topográfico área de estudio mediante GPS



### Anexo Fotográfico 3

Toma de muestras cilíndricas para cálculo de densidad aparente



*Obtención de muestras cilíndricas en perfiles del suelo*



*Limpieza y guardado de muestras tomadas*



*Muestras llevadas al horno para cálculo de densidad aparente*

## Anexo Fotográfico 4

### Determinación de Capacidad de Campo



*Muestra húmeda para determinación de capacidad de campo*



*Muestra seca para determinación de capacidad de campo*

## Anexo Fotográfico 5

Ensayo de Infiltración de Doble anillo



## Anexo Fotográfico 6

Estimación Indirecta de caudal en la red



## Anexo Fotográfico 7

### Registro de medidas “In situ”

